

Inteligentní regulace topení

Martin Vancí

Faculty of Informatics and Management
University of Hradec Kralove,
Hradec Kralove, Czech Republic
martin.vanci@uhk.cz

Topení pomocí vlastního kotle je velice rozšířené. Většina topných systémů ale řeší špatně, nebo vůbec regulaci vytápění. Nejčastěji obsahuje bytová jednotka jeden centrální termostat, který ovládá kotel, ale není schopen nastavit v každé místnosti jinou teplotu. Řešením je měřit teplotu v každé místnosti a ovládat ventily na jednotlivých radiátorech. Stávající řešení používají proprietární komunikační protokoly a jsou neúměrně drahé. Ovládací algoritmus je pevně daný bez možnosti úpravy. Stavbou vlastní regulace získáme nejen finanční úsporu, ale hlavně zvýšíme uživatelské pohodlí.

Topení; regulace; domácí automatizace; arduino; termostat;

I. INTRODUCTION/ÚVOD

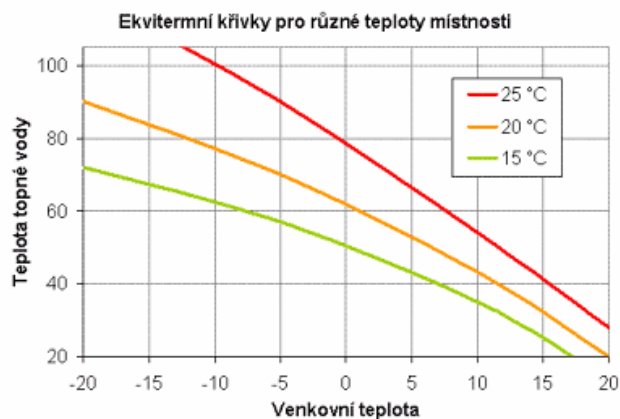
V současné době patří etážové topení mezi jedno z nejčastějších. Jeho princip je jednoduchý: každý byt v domě má svůj vlastní kotel. Může to být například kotel na uhlí, ale nejčastěji bývá plynový.

Topný systém v bytě se sestává z centrálního kotle a soustavy radiátorů rozvedené po bytě. Každá obytná místnost má minimálně jeden radiátor, maximální počet teoreticky není omezený, ale víc než tři se obvykle nevyskytují. [1]

K řízení celého systému se nejčastěji používá jeden centrální termostat. Jeho připojení ke kotli (uvažujeme plynový kotel) je realizováno pomocí dvou drátů. Nejstarší kotle využívaly střídavého napětí 230V, pak vedl v kabelu ještě třetí, ochranný vodič. Moderní kotle pracují se stejnosměrným napětím 12V. U levných kotlů se navíc nepoužívá žádná „inteligentní“ komunikační sběrnice. Pokud termostat vyhodnotí pomocí svých senzorů potřebu zatopit, pouze spojí oba dráty vedoucí ke kotli. Jakmile termostat vyhodnotí dostatečnou teplotu, opět dráty rozpojí a tím kotel vypne. Pravděpodobně všechny kotle mladší deseti let vyhodnocují pomocí svého vlastního vestavěného mikroprocesoru v řídicí jednotce teplotu vody, která se do kotle vrací ze soustavy radiátorů. Pokud je vysoká (nad nastavenou teplotu na kotli), automaticky přestanou topit. Pokud tedy dojde k trvalému spojení drátů od termostatu, nic se nestane – pouze bude přetopeno.

Ideální by bylo využít ekvitermní regulaci. Při tomto způsobu regulace se mění teplota vody v systému. Na čím menší teplotu musí kotel ohřát vodu, tím méně spotřebuje

energie. Regulace se řídí podle ekvitermních křivek, které popisují závislost venkovní teploty a potřebné teploty topné vody k dosažení potřebné teploty v místnostech. K ekvitermní regulaci je však nutné mít možnost elektronicky řídit na kotli teplotu vody. Levné kotle mají pouze mechanický potenciometr. Sice by bylo možné vyměnit mechanický potenciometr na řídicí desce kotle za digitální, ale kotel by pak neprošel revizí a mohl by být nebezpečný!



Obr. 1: Ekvitermní křivky [18]

Pokud nemůžeme zaručit pomocí regulace v každé místnosti jinou teplotu, nebude se uživatel cítit příjemně a budou vysoké náklady na energie.

Stávající řešení buď tento problém vůbec neřeší a spoléhají na otevřené dveře mezi všemi místnostmi – jedna topná jednotka, nebo jsou velmi drahé a nesvobodné.

Pokud je automatizační systém nesvobodný a využívá proprietárních protokolů, není možné snadno provést změnu v systému. Vystavujeme se riziku, že firma po nějakém čase přestane systém prodávat a ukončí technickou podporu. Jestliže se nám pak jakýkoliv prvek rozbije, nebude možné místo něj koupit nový a budeme muset vyměnit celý systém regulace. To může obnášet i stavební práce, pokud máme kabely pod omítkou a také může být nutné vyměnit tělesa ventilů na všech radiátorech. Kvůli tomu je nutné odstavit celý topný systém.

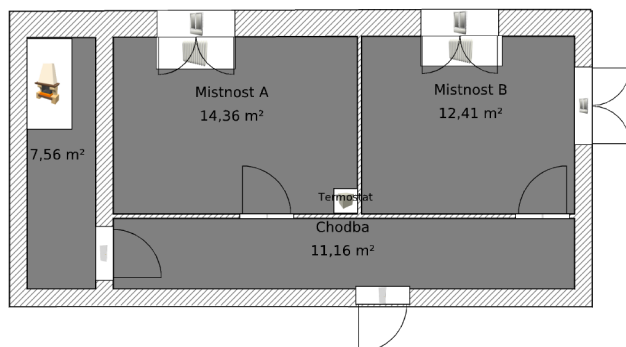
Cílem by mělo být snímat teplotu samostatně v každé místnosti [2] a pomocí vlastní řídicí jednotky soustavně vyhodnocovat, jestli daná místnost již dosáhla požadované

teploty. Pokud ano, musí být jednotka schopná v této místnosti vypnout topení. To je možné prakticky jen jediným způsobem – uzavřít radiátor. [3]

II. PROBLEM DEFINITION/ DEFINICE PROBLÉMU

Nejběžnější systém centrálního kotle, centrálního termostatu a soustavy radiátorů je už z principu špatný.

Centrální termostat má hlavní nevýhodu – řídí celou topnou jednotku (byt) podle teploty v jedné místnosti. Uvažujme následující modelový příklad bytu se dvěma místnostmi:



Obr. 2: Schéma modelového bytu (zdroj: autor)

V místnosti A chceme mít 20°C a v místnosti B 22°C. Při použití mechanicky nastavitelných hlavice k radiátoru lze pomocí testování nadefinovat správnou polohu pro udržení teploty v prázdných místnostech. Jakmile se bude v některé místnosti zdržovat jeden, nebo více lidí, celá regulace přestane fungovat. Uvádí se, že člověk vydá tepla asi za 100W žárovku. Pokud bude v místnosti s termostatem pět lidí a zapnuté nějaké domácí spotřebiče vyprodukují relativně velké množství tepla. Tím dojde k vypnutí kotle a v ostatních místnostech se přestane topit bez ohledu na požadovanou teplotu. [4]

Možná řešení jsou asi dvě. První řešení spočívá v otevření dveří mezi všemi místnostmi a tím se vyrovná teplota. Je jasné, že jde o velmi neekonomické řešení – zbytečně se vytápí prostory, kde se nebydlí (například chodba). Jde také o uživatelské pohodlí. Bude mít v celém bytě stejnou teplotu. Druhé řešení spočívá v možnosti samostatného ovládání každé místnosti a každého radiátoru.

Abychom mohli zavřít a znovu otevřít radiátor, musí na něm být akční člen s elektricky ovládanou hlavici. [5]

Elektricky ovládané hlavice se rozdělují na tři základní typy podle způsobu uzavření ventilu radiátoru: „hlavice s elektrickým pohonem“ a „termoelektrické hlavice“.

Hlavice s elektrickým pohonem obsahují malý elektromotor a malou převodovku, pomocí které zamáčkne píst ventilu. Jejich nevýhodou je omezená životnost převodů, které bývají nejčastěji z plastu. Při změně stavu produkují hluk, ten může uživateli vadit, zvláště jedná-li se o ložnici. Výhodou je spotřeba energie, ta je nutná pouze pro změnu stavu. Hlavice už pak ve stavu drží bez stálé potřeby energie.

Autonomní hlavice mají pohon elektromotorem. Teplotu snímají přímo v tělese hlavice, to znamená několik

centimetrů od radiátoru a to je činí nepřesnými. Mají displej a tlačítka, kterými si uživatel může v omezené míře nastavit požadovanou teplotu a časový program. Napájení je z baterií.

Termoelektrické hlavice používají stejný princip, jako klasické mechanické termostatické hlavice. Mají v sobě prvek reagující na teplo. Jakmile se prvek zahřeje, roztáhne se a zamáčkne píst ventilu. Celý proces je absolutně bez hluku. Nevýhodou je spotřeba elektrické energie pro udržení stavu. Musí stále protékat proud topným článkem. Je sice mnohem menší, než při změně stavu, ale stále existuje. Spotřeba bývá pod 2W na jednu hlavici, liší se podle výrobce.

Další důležité kritérium při výběru je pracovní napětí hlavice. Vyrábějí se dva typy: 230V AC a 24V AC/DC.

Hlavice na 230V vyžadují síťové napětí. Instalaci tak může provádět pouze člověk s příslušnou certifikací a po bytě jsou rozvody nebezpečného napětí. Výhodou je jednoduchost a přítomnost 230V v každé místnosti. [6]

Verze na 24V je nesrovnatelně bezpečnější, než 230V verze. Hlavice od většiny výrobců obvykle dokážou pracovat jak se střídavým, tak se stejnosměrným napětím. Často se ovládací napětí přivádí přímo od řídicí jednotky, i když při takto nízkém napětí vznikají relativně velké ztráty.

Po přivedení napětí může hlavice radiátor otevřít, nebo zavřít. Jde o takzvané typy NC (Normal Close) a NO (Normal Open). Jak je z názvu patrné, NC typ je bez napětí uzavřen. NO je bez napětí otevřen. Nejčastěji se používají modely NC, protože se radiátor otevírá pouze tehdy, má-li topit. Jinak nespotebovává žádnou energii pro hlavici.

Velice důležitý parametr při výběru hlavice je její připojení. Dnes je nejrozšířenější připojení pomocí metrického závitu M30x1,5. Obvykle je stejně nutné použít výrobcem podporované ventily, nebo použít redukci.

Existujících řešení je velké množství, ale každé má nějaké nedostatky. Nejčastěji to bývá vysoká cena, nebo nesvoboda řešení.

Bezdrátový regulační systém HomeControl [19] funguje na principu bezdrátové komunikace jednotlivých hlavice a centrální jednotky. Systém používá autonomní hlavice s měřením přímo u radiátoru a proto je málo přesný. Sada pro čtyři místnosti se dá koupit za 4 500 Kč.



Obr. 3: Autonomní hlavice [14]

Regulace od české firmy Jablotron [20] vyžaduje kromě samotných hlavice centrální řídicí jednotku v ceně 6 000 Kč, což je velmi drahé.

Bezdrátový inteligentní regulační systém Fibaro [21] používá ke komunikaci mezi jednotlivými prvky bezdrátovou sběrnici Z-Wave. Nejlevnější centrální řídicí jednotka vychází na 8 000 Kč. Umí sice komunikovat s velkým množstvím dalších senzorů v celém bytě, ale pokud chceme pouze regulovat topení, je její cena neúnosně drahá.

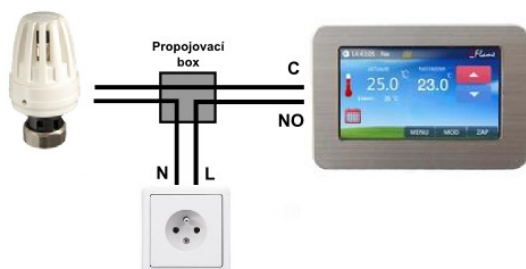
Bezdrátový regulační systém PocketHome má nejlevnější centrální řídicí jednotku. Její cena začíná na 2 000 Kč. Problém toho řešení je v drahých ovládacích hlavících. Nejlevnější stojí 1 300 Kč.

III. NEW SOLUTION / NOVÉ ŘEŠENÍ

Nové řešení využívá samostatného ovládání všech radiátorů v bytě a snímání teploty v každé místnosti. Ekvitermní regulace není možná, protože není možný žádný neodborný zásah do plynového kotle.

Po srovnání ovládacích hlavice vychází nejvýhodnější termoelektrická hlavice, která neobsahuje žádné mechanické prvky. Napětí je vhodné 24V. Je tak možné od centrální jednotky vést i napájení. Použitý kabel bude UTP, takže se vlastně bude jednat o napájení na způsob pasivního POE (Power Over Ethernet).

Není problém mít v bytě hlavice na 230V AC i na 24V AC/DC a to jak typ NC, tak i NO. Stačí pouze modifikovat firmware v centrální řídicí jednotce.



Obr. 4: Zapojení 230V hlavice [15]

Aby bylo možné vyhodnocovat zavírání radiátorů, musí centrální jednotka znát přesné teploty v místnostech. V rámci vyšší přesnosti může být v každé místnosti teploměr větší počet, z nichž centrální jednotka může počítat průměr.

K měření teploty se dá použít více typů senzorů.

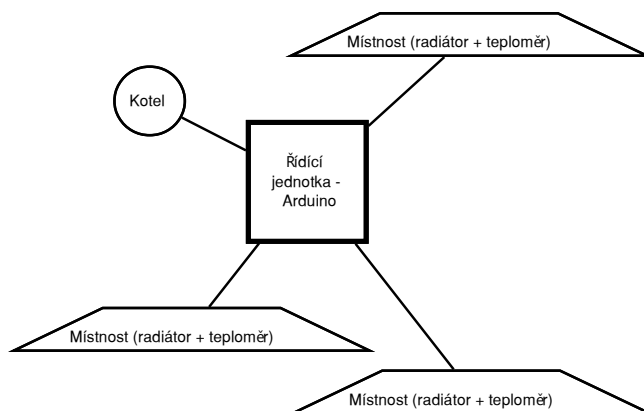
Nejlevnějším teplotním senzorem je termistor, který mění svůj odpor v závislosti na okolní teplotě. Vyrábí se verze NTC - při poklesu teploty poklesne jeho odpor a verze PTC [7] - při vzrůstající teplotě jeho odpor roste také. Vždy je nutné znát přesnou charakteristiku použitého termistoru. Největší problém je práce s analogovou hodnotou. Jakmile použijeme i o několik málo centimetrů delší, nebo kratší přírodní kabel, okamžitě ztrácíme přesnost. Je tedy nutné mít zkalibrovaný termistor včetně přírodního kabelu. [8]

Druhou variantou je teplotní čidlo s analogovým výstupem, například LM35 [9]. To udává teplotu přepočítanou na napětí. 1°C odpovídá 10mV. Na měření stačí obyčejný voltmetr. 20°C naměříme jako 200mV. Nevýhodou je opět potřeba zkalibrovaného kabelu. Výhodou je přímé odčítání teploty, vnitřní charakteristika teplotního čidla nás nezajímá.

Nejlepším řešením je teplotní čidlo komunikující po nějaké digitální sběrnici. Ta nám přinese několik výhod. Nemusíme provádět kalibraci kabelu od centrální jednotky k teplotnímu čidlu. Komunikace je u většiny sběrnic chráněná mechanismem kontrolních součtů, který zajistí detekci špatně přenesených hodnot. Díky sběrnice charakteristice je možné připojit na jeden kabel (sběrnici) větší množství teplotních čidel. Nejznámější je digitální teplotní čidlo se sběrnici je DS18B20 [10] od firmy Maxim Integrated (dříve Dallas Semiconductor, od toho také plynou počáteční písmena DS v názvu čidla).

Centrální řídicí jednotka tvoří mozek celého topného systému. Měla by být dostatečně výkonná na chod celého systému, bezporuchová, levná a snadno programovatelná.

Protože není potřeba provádět neustále logování aktuálních dat, využijeme řídicí desku s jednočipovým mikrokontrolérem. Ten v jednom čipu obsahuje celý počítač včetně RAM, ROM, procesoru a dalších podpůrných obvodů.



Obr. 5: Blokové schéma

Bylo by možné provádět vzdálené logování a mít možnost v reálném čase měnit hodnoty algoritmu pro topení, ale pak bylo potřeba použít desku na klasické x86, případně ARM architektury. To by ale celé řešení hodně prodražilo a zkomplikovalo. Míra poruchovosti by se hodně zvedla - jednočipový mikropočítač s neměnným se programem běžícím v jednom jediném vláknu má řádově menší pravděpodobnost rozbití ve srovnání s běžným x86 PC na platformě Intel a běžným operačním systémem Microsoft Windows, nebo Linux.

Řídicí jednotka bude používat jednoduchý algoritmus. Pokud je teplota naměřená v místnosti menší, než uživatelem požadovaná, tak otevře radiátor. Pokud není zapnutý kotel, zapne ho. Takhle zkontroluje všechny místnosti. Pokud je otevřený minimálně jeden radiátor, vždy zapne kotel.

Obrácený postup je stejný. Pokud už jsou zavřené všechny radiátory, jednotka vypne kotel.

Výkonovou část centrální řídicí jednotky řešíme pomocí relé. Každá hlavice na každém radiátoru je spínána přes své vlastní relé. Kotel má také vlastní relé. Tím se otevírá možnost vyžít různých modelů ovládacích hlavice. Potřebné napětí 230V, 24V nás nezajímá, spíná ho relé.

Po bytě budeme tahat kabeláž do každé místnosti. Samostatné napájecí dráty musí vést ke každému radiátoru a ovládat hlavici. Bylo by možné použít společnou zem, ale kvůli výkonu bude mít každý radiátor své vlastní napájecí dráty.

Digitální teploměry komunikující po sběrnici potřebují pro svůj provoz pouze dva dráty napájení. Na této sběrnici jsou připojena všechna a pomocí speciálního protokolu jsou schopna komunikovat s centrální řídicí jednotkou.

U kabelu vedoucímu k hlavici na radiátoru je potřeba dávat pozor pouze na jeho průřez. Nesmí dojít k velkému poklesu napětí.

Kabel k teploměru je mnohem náročnější. Každá sběrnice má přímo ve své vlastní normě definované požadavky na maximální délku, kapacitu, typ kabelu a maximální počet současně možných připojených zařízení.

Například u I2C sběrnice je maximální délka sběrnice limitována kabelem, který nesmí překročit kapacitu 400pF.

Větvení není libovolné, některé sběrnice umožňují hvězdkovou topologii (Ethernet), jiné naopak sběrnice (RS-485).

IV. IMPLEMENTATION / IMPLEMENTACE ŘEŠENÍ

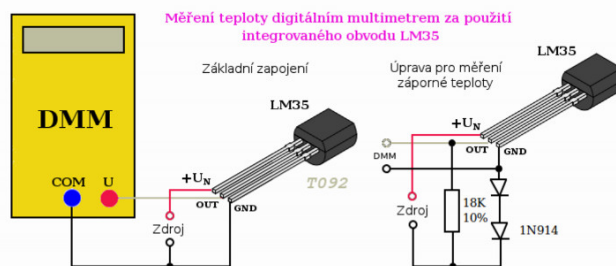
K realizaci modelového bytu se dvěma místnostmi, z nichž má každá jeden radiátor budeme potřebovat dvě elektricky ovládané hlavice, centrální řídicí jednotku a propojovací kabely.

Protože místnosti jsou malé a nevyžadujeme extrémní přesnost, umístíme do každé z místností v bytě pouze jedno teplotní čidlo. Pokud by byla potřeba dosáhnout větší přesnosti, je možné dodatečně přidat další teplotní senzory a upravit firmware v centrální řídicí jednotce.

Protože hlavice s pohonem pomocí elektromotoru jsou hlučné a nemají tak velkou životnost, použijeme hlavice s termoelektrickým pohonem. Ovládání bude probíhat nahříváním roztaženého prvku. Z důvodu bezpečnosti budou hlavice na 24V DC. Použitý typ bude NC (Normal Close, bez napětí zavřený). Díky tomu bude potřeba držet hlavici pod proudem pouze po dobu, než se místnost ohřeje.

Ke každému radiátoru povede samostatný kabel s 24V. Tyto kabely budou u centrální řídicí jednotky zapojeny do reléové desky. Ke třetímu relé připojíme kotel místo původního termostatu. Kotel bude galvanicky oddělený od řídicí jednotky, takže bez problému vyhovíme bezpečnostním normám.

Teplotní senzory je možné použít různého typu. Termistory jsme po testování zavrhlí, protože je potřeba znát jejich charakteristiku a je potřeba započítat odpor kabelu.



Obr. 6: Měření LM35 voltmetrem [17]

Senzor LM35 má přesnost $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$, ta je pro účely regulace topení dostatečná. Problém je čtení hodnot, které provádíme čtením hodnoty napětí. Opět je nutné provádět kalibraci senzorů v každé místnosti a započítávat kabel do měření. Ke každému senzoru je nutné mít přivedený samostatný „datový“ vodič. I přes snadné měření jsme LM35 senzory po dlouhém testování zavrhlí.

Nejlépeším cenově dostupným řešením se ukázal teplotní senzor DS18B20 od firmy Maxim Integrated.

Senzory DS18B20 komunikující s centrální řídicí jednotkou pomocí 1-Wire sběrnice. Díky sběrnici je možné mít po bytě natažený pouze jeden kabel a senzory k němu paralelně připojovat.

1-Wire sběrnice obsahuje vždy jedno master zařízení a jedno až n slave zařízení. Komunikaci vždy zahajuje master a slave zařízení mu odpovídají. Provoz na sběrnici je rozdělený do timeslotů. Sběrnice je ve srovnání s I2C mnohem pomalejší a není vhodná na velké datové přenosy. [12] Výborně se ale hodí na čtení hodnot z různých senzorů.

Pro jednoznačnou identifikaci obsahuje každé 1-Wire zařízení celosvětově unikátní 64 bitové sériové číslo (ID).

Figure 4. Supplying the Parasite-Powered DS18B20 During Temperature Conversions

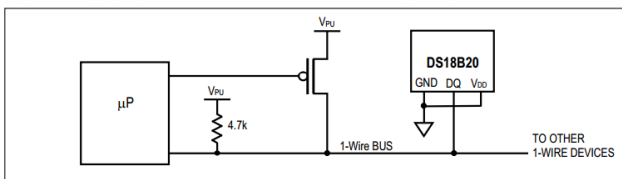
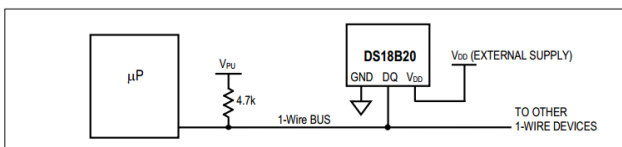


Figure 5. Powering the DS18B20 with an External Supply

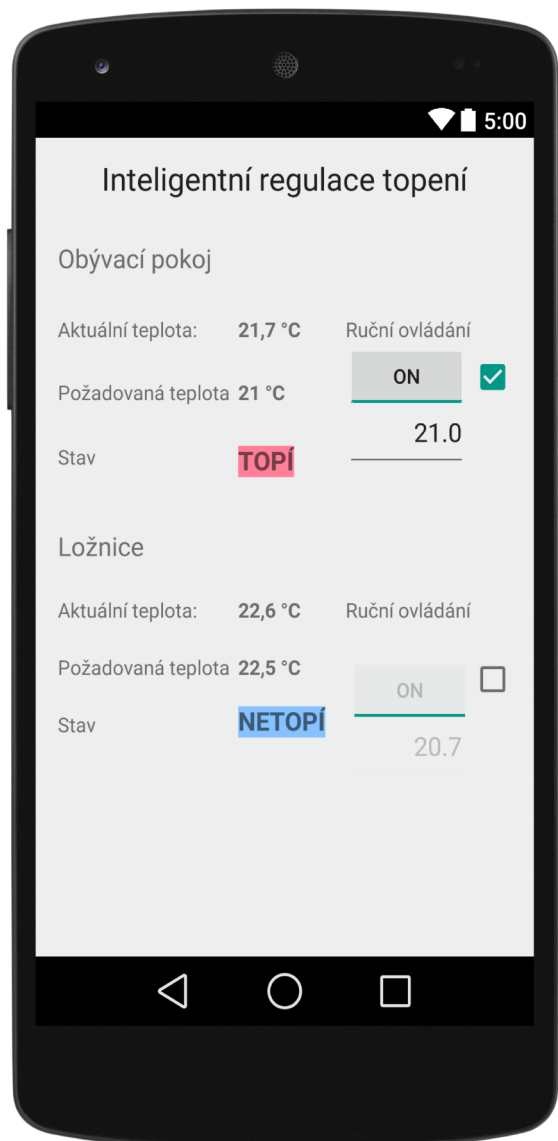


Obr. 7: Napájení 1-Wire zařízení [10]

Protože má DS18B20 [11] velmi malý proudový odběr, je možné ho provozovat v takzvaném „parazitním režimu“. K senzorům přivedeme pouze zem a datový vodič. Napájení (+) se přenáší po datovém vodiči. Všechny senzory mají vestavěný miniaturní kondenzátor, který se vždy při logické 1 na sběrnici nabíjí a z něho pak realizují vysílání. U větších

vzdáleností je možné použít třívodičové zapojení, plus, zem a data.

Jako centrální řídicí jednotku jsme zvolili Arduino, konkrétně desku Arduino Nano. Je plně kompatibilní s běžnými Arduino Uno a Arduino Duemilanove, ale je rozměrově menší a umožňuje přímé zapájení do desky plošných spojů.



Obr. 8: Aplikace pro Android

Testovali jsme několik různých mikropočítačů, zejména AVR, PIC a STM32. STM32 jsou 32 bitové ARM procesory na asi 84 MHz. Na uvedenou regulaci jsou zbytečně výkonné a mají složité programování. Nevyrábí se v DIL (Dual Inline Package), ale pouze v SMD (Surface Mount Device), takže na ruční osazení nejsou vhodné.

Rodina 8 bitových PIC mikropočítačů se ukázala málo výkonná, problém je hlavně v malé RAM. Běžně mají 256

bajtů RAM. S ohledem na možné budoucí rozšíření o komunikaci po Ethernetu je to nepoužitelně málo.

Nejvýhodnější se ukázaly mikropočítače z rodiny AVR od firmy Atmel. Konkrétně ATmega328. [13] Má 2 kilobajty RAM, 1 kilobajt EEPROM a pracuje až na 16 MHz.

S ohledem na snadné programování jsme využili programovací jazyk Arduino. Jedná se o upravené C++ se snadnou učicí křivkou. Pro Arduino je k dispozici velké množství knihoven a má výbornou komunitní podporu.

Arduino Nano má 14 vstupně výstupních pinů. [14]

Nastavení požadovaných teplot je uloženo v EEPROM v integrované 1 kilobajt velké EEPROM. Pokud chce uživatel změnit nastavení, musí připojit řídicí jednotku k počítači a přehrát paměť EEPROM. Ke komunikaci je použita sběrnice USB s integrovaným převodníkem na standardní sériový port RS-232.

Implementovaný protokol je textový a se zařízením se komunikuje pomocí ASCII znaků. Na základní testování je možné použít PuTTY, případně lze vytvořit aplikaci pro snadnější nastavení a kontrolu hodnot.

V. TESTING OF DEVELOPED APPLICATION / TESTOVÁNÍ VYVINUTÉ APLIKACE - ŘEŠENÍ

Celé řešení inteligentního vytápění na platformě Arduino je pravděpodobně unikátní.

Existuje více amatérských projektů, které jejich autoři prezentují na svých osobních webových stránkách. Žádné komerční řešení na Arduino se nám však najít nepodařilo.

Aby bylo možné kvalitně otestovat popsany systém regulace topení, bylo by nutné mít patřičné technické vybavení. To znamená hlavně litinové a plechové radiátory, dále různé typy kotlů, protože každý z nich má vlastní řídicí jednotku a vlastní „logiku“ vytápění. Dále by bylo nutné mít k dispozici identické objekty. To znamená dva stejné byty, nebo ideálně dva stejné domy, ve kterých by za co nejvíce podobných podmínek probíhalo testování. Na srovnání s ostatními komerčně vyráběnými jednotkami by opět bylo nutné tyto jednotky mít fyzicky k dispozici, zapojit je a provést měření. Nic z toho jsme k dispozici neměli, proto nebylo možné testování, ani odhad provést.

Pro testy by bylo nejzajímavější měřit setrvačnost plechových a litinových radiátorů v závislosti na teplotě oběhové vody v topném systému a rychlosti vychladnutí radiátoru na pro test zvolenou výchozí teplotu.

VI. CONCLUSIONS / ZÁVĚRY

Cílem bylo postavit levnou a jednoduchou řídicí jednotku pro inteligentní regulaci vytápění bytu. Požadavek byl na co nejnížší cenu a svobodné řešení, proto jsme už na začátku zavrhlí úpravu stávajících komerčních automatizačních systémů.

Na stavu řídicí jednotky byla zvolena platforma Arduino pro svoji nízkou cenu, spolehlivost a rozšířenost. Celé ovládání je řešeno v řídicí jednotce – je autonomní. Nemůže

tak nastat stav, kdy například při výpadku internetu přestane fungovat topení.

V další verzi by bylo dobré vytvořit grafickou aplikaci na ovládání a napojení na cloud. Uživatel by tak měl přístup ke grafům a mohl by odkudkoliv měnit nastavení.

REFERENCES / REFERENCE

- [1] Geth, F, Vervecken, J, Leemput, N, Van Roy, Beerten, J, Tielens, P, De Smedt, V, Iacovella, S, Hunyadi, B, Koolen, N, De Clercq, H, Gielen, G, Puers, R, Van Huffel, S, Belmans, R, Deconinck, G, Dehaene, W, Driesen, J: Development of an Open-Source Smart Energy House for K-12 Education, In General Meeting of the IEEE-Power-and-Energy-Society (PES), 2013
- [2] Sun, SH, Jin, YS, Zhang, WJ: DESIGN AND SIMULATION OF REMOTE TEMPERATURE MONITOR AND CONTROL SYSTEM BASED ON EMBEDDED WEB SERVER, In International Conference on Instrumentation, Measurement, Circuits and Systems (ICIMCS 2011), 2011
- [3] Fuentes, M, Vivar, M, Burgos, JM, Aguilera, J, Vacas, JA, Design of an accurate, low-cost autonomous data logger for PV system monitoring using Arduino (TM) that complies with IEC standards, In SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, Volume 130, pp. 529-543, 2014, 10.1016/j.solmat.2014.08.008
- [4] MINEBEA CO LTD(MINW-C). Thermoelectric energy converter for, e.g. sensor has thermal reservoirs in which one thermal reservoir serves as heat source and other serves as heat sink while second is formed by housing [patent]. DE102013204166-A1, 2014-R02161. Uděleno 16.02.2014.
- [5] TOYOTA JIDOSHA KK(TOYT-C). Thermoelectric-generation apparatus for engine of vehicle, has electronic control unit to diagnose failure of valve based on electrical property of thermoelectric conversion module, when transmitting opening or close signal to actuator [patent]. JP2013147974-A, 2013-M02201. Uděleno 20.02.2013.
- [6] HONEYWELL TECHNOLOGIES SARL(HONE-C). Thermoelectric actuator for use in room-temperature controller for regulation of e.g. radiator, has Peltier element that heats or cools expandable and contractible element based on electrical current flow through Peltier element [patent]. EP2559898-A1, 2013-C52829. Uděleno 17.8.2011.
- [7] Zeng, Y, Lu, GX, Wang, H, Du, JH, Ying, Z, Liu, C, Positive temperature coefficient thermistors based on carbon nanotube/polymer composites: In NATURE PUBLISHING GROUP, MACMILLAN BUILDING, 4 CRINAN ST, LONDON N1 9XW, ENGLAND journal, Volume 4, 2014, DOI: 10.1038/srep06684Bhadrakumari, S, Rabiya, A, Electrical properties of composite temperature: dependent resistors: In TAYLOR & FRANCIS LTD, 4 PARK SQUARE, MILTON PARK, ABINGDON OX14 4RN, OXON, ENGLAND journal, Volume 21, Issue 2, pp. 173-177, 2014, DOI: 10.1080/15685543.2014.856196
- [8] INSTRUMENTS, Texas. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. *LM35 datasheet*, Aug, 1999.
- [9] 周月霞; 孙传友. DS18B20 硬件连接及软件编程. *传感器世界*, 2001, 7.12: 25-29.
- [10] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. In: [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [11] Sběrnice 1-Wire™. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/sbernice-1-wiretm.html>
- [12] ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH DATASHEET. In: [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf
- [13] Arduino - ArduinoBoardNano. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
- [14] Bezdrátová digitální regulační hlavice na topné těleso PH-HD20 | Regulace topení | zabezpečovací-zařízení.cz. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/regulace-topeni/bezdratova-digitalni-regulacni-hlavice-na-topne-teleso-ph-hd20-%5Bw2512%5D>
- [15] Princip ovládání termoelektrické hlavice topného tělesa | Termostatické hlavice | zabezpečovací-zařízení.cz. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/termostaticke-hlavice/princip-ovladani-termoelektricke-hlavice-topneho-telesa-%5Bb070%5D>
- [16] Bus network - Wikipedia, the free encyclopedia. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bus_network&oldid=636440074
- [17] File:Měření teploty multimetrem za použití LM35.jpg - Wikimedia Commons. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:M%C4%9B%C5%99en%C3%AD_teploty_multimetrem_za_pou%C5%B5it%C3%AD_LM35.jpg
- [18] Ekvitermní regulace - princip a využití v systémech regulace vytápění - TZB-info. In: [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapieni>
- [19] Regulační systém topení HC-PH-HD01 pro dům nebo byt | Systém HomeControl | zabezpečovací-zařízení.cz. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/regulacni-systemy/system-homecontrol/regulacni-system-topeni-hc-ph-hd01-pro-dum-nebo-byt-%5Bw2519%5D>
- [20] Systém Jablotorn | zabezpečovací-zařízení.cz. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/regulacni-systemy/system-jablotorn/>
- [21] Systém Fibaro | zabezpečovací-zařízení.cz. [online]. [cit. 2014-12-19]. Dostupné z: <http://www.zabezpecovaci-zarizeni.cz/regulacni-systemy/system-fibaro/>